

2 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT

2.1 Klassifikation der Vögel

Die Klasse der Vögel (*Aves*) zählt rund 8700 Arten. Die Systematik der Vögel unterscheidet rund 30 Ordnungen (NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000). Die Ordnung der Hühnervögel (*Galli*) unterteilt sich in 7 Familien, u. a. in die Familie der fasanenartigen Vögel. Dieser Familie ist die Erdwachtel (*Coturnix*) zugeordnet (KIWITT 2003). Die Gattung der Erdwachteln unterteilt sich in 9 Arten, u. a. in die Wachtel (*Coturnix coturnix*) und die domestizierte Japanwachtel (*Coturnix coturnix japonica*).

2.2 Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper

Die Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper sind jene, die auch in der Säugetieranatomie angewandt werden. Am Kopf gilt *rostral* für schnabelwärts und *caudal* für nackenwärts. *Lateral* bedeutet zur Außenseite, *medial* zur Mittellinie des Körpers gerichtet. Am Rumpf gilt *dorsal* für rückenwärts, *ventral* für bauchwärts, *cranial* für kopfwärts und *caudal* für schwanzwärts (**Abb. 1**). Die Axis rostrocaudalis verläuft von der Schnabelspitze sagittal durch den Körper bis zur Schwanzspitze (NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000).

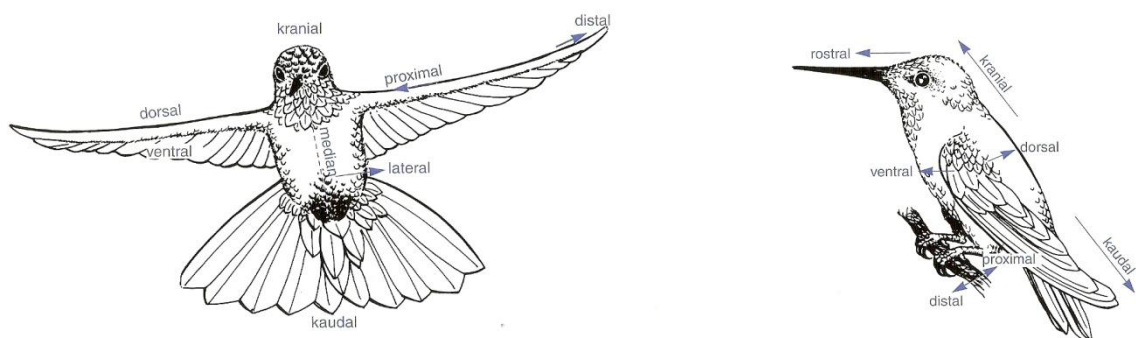


Abb. 1 Lage- und Richtungsbezeichnungen am Vogelkörper (HUMMEL 2000)

2.3 Das Os hyoideum der Vögel

2.3.1 Makroskopische Anatomie des Os hyoideum der Vögel

Da die Vögel einen relativ einheitlichen Körperbau aufweisen, wird das Os hyoideum, das Zungenbein, von den Autoren einerseits anhand des allgemeinen Vogeltypus beschrieben, andererseits steht die Morphologie des Huhnes im Mittelpunkt der Darstellung. Morphologische Besonderheiten der Wachtel werden entsprechend berücksichtigt.

Der Name Os hyoideum geht auf den griechischen Buchstaben υ (Ypsilon) zurück, da seine Gestalt einem U ähnelt.

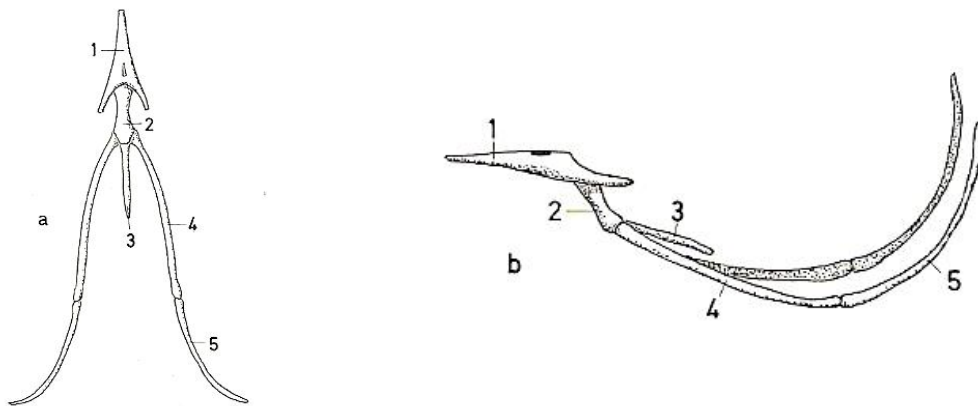


Abb. 2 Zungenbein einer Zuchtwachtel

a,b- Zuchtwachtel: a- in Dorsalansicht, b- in Seitenansicht;
 1- Os entoglossum, 2- Os basibranchiale rostrale, 3- Os basibranchiale caudale,
 4- Os ceratobranchiale, 5- Os epibranchiale
 (NICKEL et al. 1992)

Das Os hyoideum der Vögel besteht rostral aus einem unpaarigen Os entoglossum (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000), auch „Paraglossum“ genannt (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die Zunge der Vögel wird im Innern durch das Os entoglossum gestützt. Dadurch wird sie versteift und ist in sich nicht verformbar. Sie kann nur im Ganzen durch das Os hyoideum verschoben werden (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die Wachtelzunge hat eine Länge von etwa 1 cm (FITZGERALD 1969).

Das Os entoglossum der Vögel entwickelt sich aus einer paarigen Anlage (KALLIUS 1904, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992), weshalb oftmals eine zentrale Öffnung erkennbar sein kann (NICKEL et al. 1992).

Die **Abb. 2** stellt die zentrale Öffnung des Os entoglossum einer Zuchtwachtel dar.

Beim Wellensittich bleibt das Os entoglossum paarig (NICKEL et al. 1992). In den meisten Fällen, so auch bei der Wachtel (**Abb. 2**), ist es pfeilartig spitz mit zwei nach caudal gerichteten Hörnern, den Cornua, an denen die Muskeln inserieren (KALLIUS 1904, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Das Os entoglossum ist teils knöchern, teils knorpelig (KALLIUS 1904, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, HILDEBRAND und GOSLOW 2004) und gelenkig mit dem Os basibranchiale rostrale verbunden (KALLIUS 1904, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

In der Literatur wird das Os basibranchiale rostrale auch als „Basihyoideum“ (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000), „Basihyale“ (KALLIUS 1904) oder als „Copula 1“ (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969) beschrieben.

An dem Os basibranchiale rostrale sind die beiden zweigliedrigen Cornua branchialia angefügt (BOLK et al. 1936, HAMILTON 1952, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Das Os basibranchiale caudale ist mit dem Os basibranchiale rostrale gelenkig verbunden (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

Es hat ein knorpeliges und spitzes Ende (BOLK et al. 1936, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Das Os basibranchiale caudale wird von den Autoren auch als „Urohyoideum“ (SALOMON 1993, HUMMEL 2000), „Urohyale“ (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, KÖNIG und LIEBICH 2001), „Copula 2“ (HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969) oder als „Carina“ (SCHWARZE und SCHRÖDER 1985) bezeichnet.

Das unpaarige zweigliedrige Basibranchiale der Vögel ist in der Vertikalebene abgewinkelt (NICKEL et al. 1992).

Im Alter von etwa 9 Bebrütungstagen liegt das Basibranchiale beim Hühnerembryo als einheitliche Knorpelstruktur vor (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992).

Bei jungen Vögeln sind das Os basibranchiale rostrale und das Os basibranchiale caudale separate Knochen, während bei adulten Vögeln beide Basibranchialia fusioniert sind (KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

BOLK et al. (1936) und IHLE et al. (1971) sprechen anstatt der Basibranchialia von einem Corpus hyoideum, dessen rostraler Anteil als Processus lingualis beschrieben wird (**Abb. 4**).

KALLIUS (1904) dagegen geht von einer knorpeligen Copula¹ aus, die zunächst aus einem einheitlichen Stück besteht. Durch den Ansatz der Cornua branchialia zerfällt sie in das Basihyale und das Urohyale. Mit der Copula sind die Cornua branchialia gelenkig verbunden.

Die Vögel besitzen ein Paar Cornua branchialia (KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Im Gegensatz dazu setzt sich das Os hyoideum des Menschen aus dem Corpus und den paarigen Cornua maiora und Cornua minora zusammen (BERKOVITZ und MOXHAM 1988, SOBOTTA 1993, GRAY 1995, LIPPERT 1996, GERMELMANN 2008).

Die Cornua branchialia der Vögel sind stark gebogen und jeweils unterteilt in ein Os ceratobranchiale und ein Os epibranchiale (KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000).

¹ Nach KALLIUS (1904) entspricht die Copula einer Mesenchymverdichtung zwischen den medialen Enden der 2. Pharyngealbögen.

IHLE et al. (1971) dagegen gehen davon aus, dass in der ventralen Medianlinie die Pharyngealbögen durch kleine Knorpelstücke, die Copulae, verbunden sind. Diese erstrecken sich von einem Pharyngealbogenpaar zum nächsten.

Das Os ceratobranchiale, in der Literatur auch als „Os ceratohyale“ (KÖNIG und LIEBICH 2001) oder als „Pharyngobranchiale“ (HAMILTON 1952) bezeichnet, ist mit dem Os epibranchiale knorpelig verbunden (BOLK et al. 1936, SALOMON 1993, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

HILDEBRAND und GOSLOW (2004) beschreiben darüber hinaus eine knorpelige Verbindung der Cornua branchialia zum Os basibranchiale rostrale.

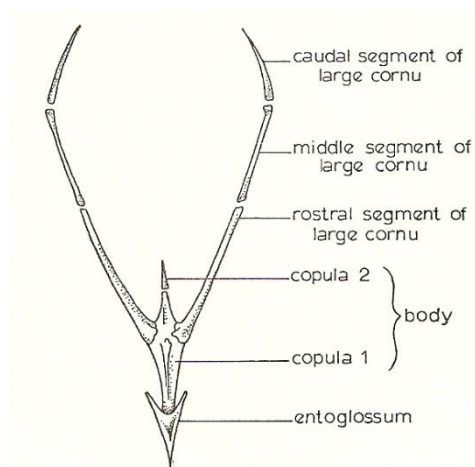


Abb. 3 Zungenbein der Wachtel
(FITZGERALD 1969)

Nach FITZGERALD (1969) bestehen die Cornua branchialia der Wachtel aus je drei Anteilen: einem rostralen, mittleren und caudalen Segment (**Abb. 3**).

Die Cornua branchialia umlaufen die Nackenfläche der Hirnkapsel seitlich, eine Verbindung zum Schädelknochen existiert nicht (FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992).

Je weiter die Zunge der Vögel vorgestreckt werden kann (z. B. beim Kolibri und Specht), desto größer ist die Schlinge der beiden Cornua branchialia um die Nackenfläche bzw. nach unten in den Hals bis hin zur Stirn (**Abb. 4**). Die Schlinge wird im Augenblick der Zungenaktion gestreckt (MOLLER 1931, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992).

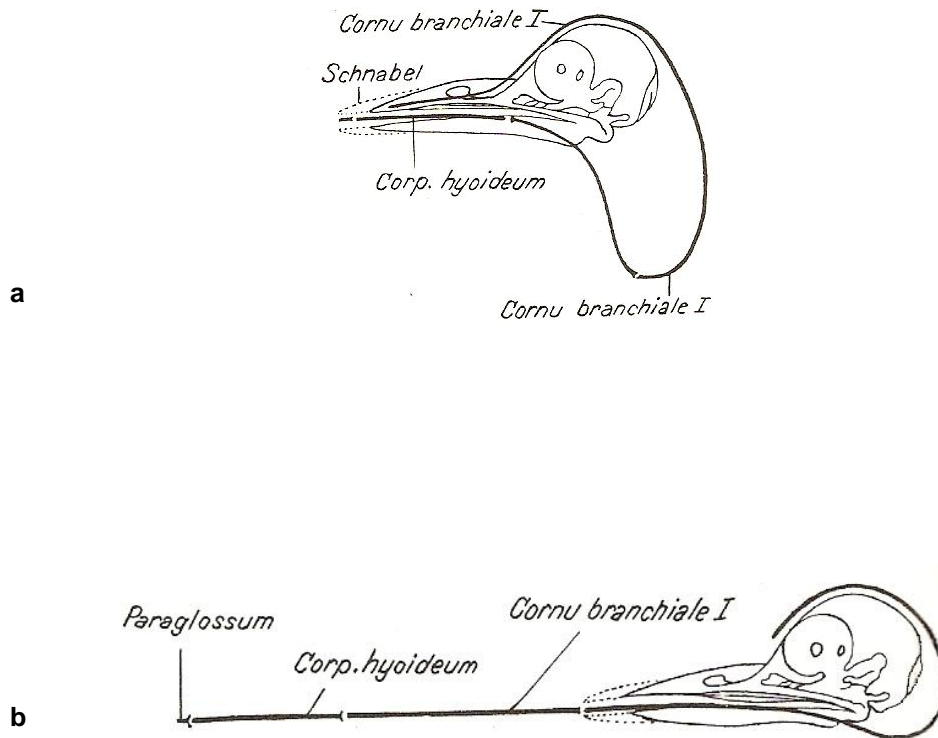
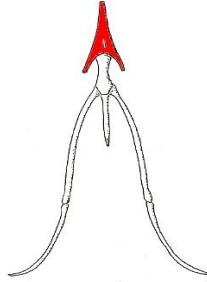
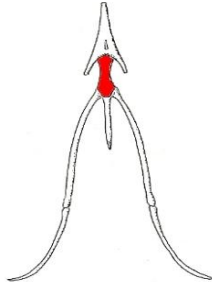
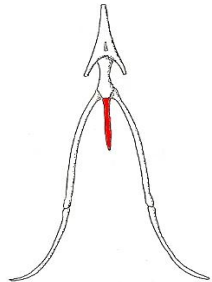


Abb. 4 Lage des Os hyoideum beim Specht (*Picus*)
a- bei zurückgezogener Zunge, b- bei ausgestreckter Zunge
(IHLE et al. 1971)

KALLIUS (1904) beschreibt, dass die Cornua branchialia der Vögel ursprünglich aus einer hyalinen Knorpelmasse bestehen. Im Rahmen des Wachstums zerfallen sie in das Os ceratobranchiale und das Os epibranchiale, die durch ein Gelenk getrennt sind. Die Cornua branchialia verknöchern als erste der Zungenbeinknorpel.

Zum besseren Verständnis hier nun die tabellarische Übersicht über den anatomischen Aufbau des Os hyoideum der Vögel:

Anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Vögel	Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>Os entoglossum</p>  <p>Os paraglossum/ Paraglossum</p>	<p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001</p>
<p>Os basibranchiale rostrale</p> <p>Basihyoideum</p> <p>Basihyale</p>  <p>Copula 1</p> <p>Proc. lingualis</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969</p> <p>BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971</p>
<p>Os basibranchiale caudale</p> <p>Urohyoideum</p> <p>Urohyale</p>  <p>Copula 2</p> <p>Carina</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KALLIUS 1904, BOLK et al. 1936, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952, FITZGERALD 1969</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Anatomischer Aufbau des Os hyoideum der Vögel	Autoren
<p>Cornua branchialia</p> <p>- <u>bestehend aus 2 Anteilen</u></p>	<p>BOLK et al. 1936, IHLE et al. 1971, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>1. Os ceratobranchiale</p> <p>Os ceratohyale</p> <p>Pharyngobranchiale</p>	<p>KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952</p>
<p>2. Os epibranchiale</p> <p>Os epihyale</p> <p>Epibranchiale</p>	<p>KALLIUS 1904, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000</p> <p>KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>HAMILTON 1952</p>
<p>- <u>bestehend aus 3 Anteilen</u></p> <p>rostrales Segment</p> <p>mittleres Segment</p> <p>caudales Segment</p>	<p>FITZGERALD 1969</p>
<p>- <u>bestehend aus 2 oder 3 Anteilen</u></p>	<p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Tab. 1 Übersicht über den anatomischen Aufbau des Os hyoideum der Vögel

2.3.2 Embryonale Entwicklung des Os hyoideum der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum zu den Pharyngealbögen²

Die Vögel sind eine Klasse der Tetrapoden, welche Wirbeltiere mit vierbeinigen Vorfahren darstellen (HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Wie bei allen Wirbeltieren folgt auch die Morphogenese der Vögel der Entwicklung aus den Pharyngealbögen. IHLE et al. (1971), ROMER und PARSONS (1983) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) beschreiben die grundlegende Anzahl der Pharyngealbögen für kiefertragende Vertebraten mit sieben (**Abb. 5**).

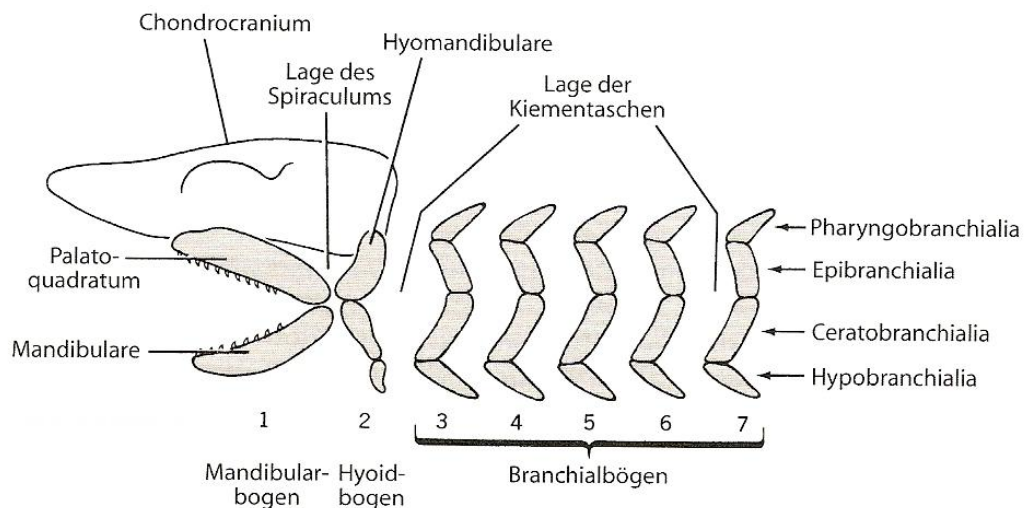


Abb. 5 Primitives Kiemenbogenskelett, gezeigt an einem schematisierten Elasmobranchier³ (HILDEBRAND und GOSLOW 2004)

² Die Pharyngealbögen werden in der Literatur teilweise auch als „Kiemenbögen“ beschrieben. Die Bezeichnung „Kiemenbögen“ geht darauf zurück, dass bei den Fischen und Amphibienlarven die Kiemenbögen Ausgangspunkt für die Entwicklung des Kiemenapparates sind (MOORE 1985, RÜSSE und SINOWATZ 1991). Bei landlebenden Wirbeltieren wird diese Kiemenskelettanlage zu Teilen des Os hyoideum, des Larynx und der Trachea umgebaut (RÜSSE und SINOWATZ 1991).

³ Elasmobranchii zählen zur Klasse der Knorpelfische, welche den kiefertragenden Vertebraten zugeordnet werden.

Die Entwicklung der Pharyngealbögen beginnt mit der Auswanderung von Zellen aus der Neuralleiste in die zukünftige Kopfregion (MOORE 1985).

Während der Ausbildung der Schlundtaschen und Schlundfurchen wird das Mesenchym, das das Epithel des Schlunddarms (cranialer Abschnitt des Vorderdarms) umgibt, zur Seite geschoben, und die Pharyngealbögen entstehen (RÜSSE und SINOWATZ 1991). Die Pharyngealbögen enthalten neben Mesenchym auch mesektodermale Zellen, die aus der Neuralleiste stammen. Aus dem lokalen Mesenchym bildet sich die Pharyngealbogenmuskulatur.

Aus dem Mesektoderm der Neuralleiste entstehen Skelettteile und Bindegewebe im Kopf- und vorderen Halsbereich (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996). Neben der Muskelanlage enthält jeder Pharyngealbogen noch eine Knorpelspange, eine Pharyngealbogenarterie und einen Pharyngealbogennerv (MOORE 1985, RÜSSE und SINOWATZ 1991).

Die Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum der Vögel zu den Pharyngealbögen wird in der Literatur unterschiedlich dargestellt.

Das Os entoglossum geht laut HAMILTON (1952), KÄMPFE et al. (1993), BELLAIRS und OSMOND (1998) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) aus dem 2. Pharyngealbogen hervor. Dagegen gehen KALLIUS (1904), IHLE et al. (1971) und NICKEL et al. (1992) von einer Neubildung bei den Vögeln aus, wonach die Entstehung nicht den Pharyngealbögen zugeordnet wird.

Einigkeit besteht in der Literatur dahingehend, dass das Os basibranchiale rostrale auf den 2. Pharyngealbogen zurückzuführen ist (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

NICKEL et al. (1992), KÄMPFE et al. (1993) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) ordnen das Os basibranchiale caudale dem 2., HAMILTON (1952) und BELLAIRS und OSMOND (1998) dem 3. Pharyngealbogen zu.

Die Entstehung der Cornua branchialia geht laut KALLIUS (1904), HAMILTON (1952), BELLAIRS und OSMOND (1998) sowie HILDEBRAND und GOSLOW (2004) auf den 3. Pharyngealbogen zurück.

NICKEL et al. (1992) beschreiben hingegen die Entstehung aus dem 2. Pharyngealbogen, KÄMPFE et al. (1993) aus dem 3. und 4. Pharyngealbogen.

Laut IHLE et al. (1971) entwickeln sich der Corpus des Os hyoideum und die Cornua branchialia aus dem 2., 3. und 4. Pharyngealbogen.

Nach RÜSSE und SINOWATZ (1991) stammt das gesamte Os hyoideum aus dem 2. und 3. Pharyngealbogenknorpel.

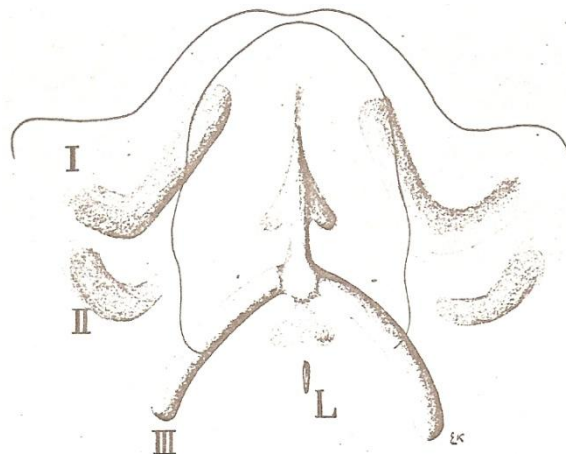


Abb. 6 Zeichnerische Rekonstruktion der Skelettanlagen des Mundbodens eines Sperlings (*Passer domesticus*)

Stadium V: 50-fache Vergrößerung. Die Anlagen der drei ersten Pharyngealbögen sind mit I, II, III bezeichnet. Die Pharyngealbögen und die zentral gelegene Copula liegen als vorknorpelige Strukturen vor. L- Kehlkopfeingang (KALLIUS 1904)

KALLIUS (1904) teilt die seitlichen mesenchymalen flügelartigen Fortsätze an der zentral gelegenen Copula (**Abb. 6**) sowie die Columella auris, das einzige Gehörknöchelchen der Vögel, dem 2. Pharyngealbogen zu (**Abb. 6 und 7**).

Er geht davon aus, dass sich der 2. Pharyngealbogenknorpel jeweils in seinem mittleren Abschnitt in der embryonalen Entwicklung der Vögel zurückgebildet hat. Der laterale Teil, die Columella auris, und der Ansatz an der Copula sind erhalten geblieben. Die mesenchymalen Fortsätze lösen sich auf, sobald sich hyaliner Knorpel in der Copula bildet. An deren Stelle entstehen dann die paarigen Anlagen des Paraglossum (**Abb. 7**). Der Copulaknorpel bildet sich als erste knorpelige Struktur des Zungenbeins. KALLIUS (1904) geht davon aus, dass am ausgebildeten Zungenbein der Vögel keine Anteile des 2. Pharyngealbogenknorpels zu finden sind. Ebenso beschreibt er, dass der 4. Pharyngealbogen der Vögel zwar als bindegewebige Verdichtung zu erkennen ist, aber knorpelige Anteile nicht entwickelt sind.

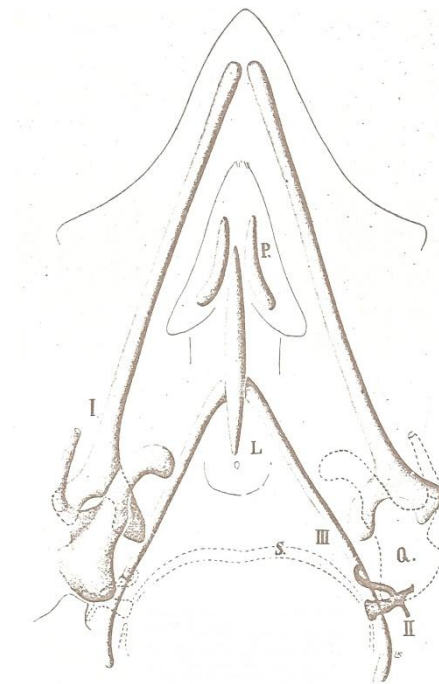
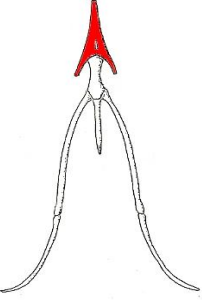
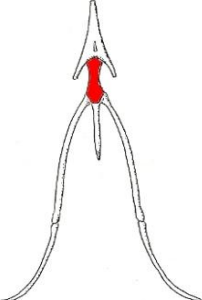
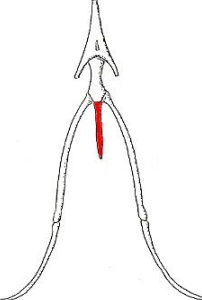
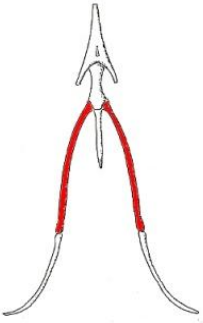
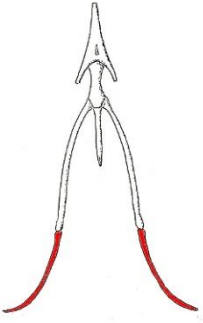


Abb. 7 Zeichnerische Rekonstruktion des Skeletts des Mundbodens eines Sperlings (*Passer domesticus*)

Stadium XV: 30-fache Vergrößerung. I- 1. Pharyngealbogen: Meckel'scher Knorpel, Os quadratum; II- 2. Pharyngealbogen: Columella auris; III- 3. Pharyngealbogen: Cornua branchialia; L- Larynx, S- Schädelbasis, Q- Os quadratum, P- Paraglossum (KALLIUS 1904)

Nachfolgend wird zusammenfassend ein tabellarischer Überblick der verschiedenen Theorien gegeben:

Teil des Os hyoideum	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>Os entoglossum/ Os paraglossum</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Neubildung bei den Vögeln, Entstehung nicht den Pharyngealbögen zugeordnet - 2. Pharyngealbogen 	<p>KALLIUS 1904, IHLE et al. 1971, NICKEL et al. 1992</p> <p>HAMILTON 1952, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>Os basibranchiale rostrale/ Copula 1/ Basihyale</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2. Pharyngealbogen - Entstehung aus der Copula 	<p>HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p> <p>KALLIUS 1904</p>
<p>Os basibranchiale caudale/ Copula 2/ Urohyale</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - 2. Pharyngealbogen - 3. Pharyngealbogen - Entstehung aus der Copula 	<p>NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p> <p>HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998</p> <p>KALLIUS 1904</p>

Teil des Os hyoideum	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
<p>Cornua branchialia</p> <p>1. Os ceratobranchiale/ Pharyngobranchiale</p> 	<p>- 2. Pharyngealbogen</p> <p>- 3. Pharyngealbogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992</p> <p>KALLIUS 1904, HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>2. Os epibranchiale/ Epibranchiale</p> 	<p>- 2. Pharyngealbogen</p> <p>- 3. Pharyngealbogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992</p> <p>KALLIUS 1904, HAMILTON 1952, BELLAIRS und OSMOND 1998, HILDEBRAND und GOSLOW 2004</p>
<p>3. Cornua branchialia (allgemein)</p>	<p>- 3. und 4. Pharyngealbogen</p>	<p>KÄMPFE et al. 1993</p>
<p>Corpus und Cornua branchialia</p>	<p>- 2., 3. und 4. Pharyngealbogen</p>	<p>IHLE et al. 1971</p>
<p>Os hyoideum (allgemein)</p>	<p>- 2. und 3. Pharyngealbogen</p>	<p>RÜSSE und SINOWATZ 1991</p>

Tab. 2 Übersicht über die Zugehörigkeit der Anteile des Os hyoideum der Vögel zu den Pharyngealbögen

2.3.3 Die Zungenbeinmuskeln der Vögel

Als Zungenbeinmuskeln wird eine Gruppe von Muskeln zusammengefasst, die den Zungenbeinapparat und damit die Zunge als Ganzes bewegen können (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

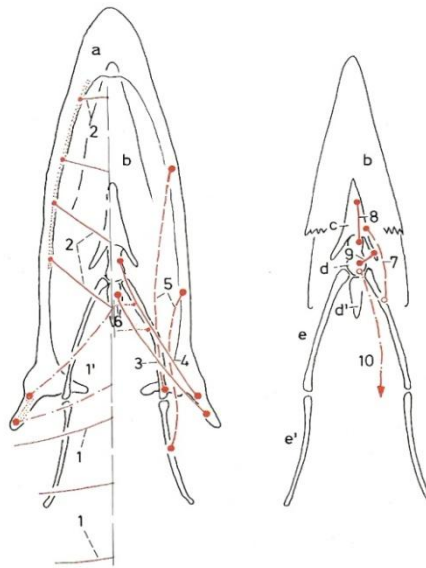


Abb. 8 Wirkungslinien der Halshaut- und der Zungenbeinmuskeln eines Huhnes

von links nach rechts: oberflächliche, mittlere und tiefe Lage (NICKEL et al. 1992)

a- Mandibula, b- Zunge, c- Os entoglossum, d- Os basibranchiale rostrale, d'- Os basibranchiale caudale, e,e'- Cornu branchiale, e- Os ceratobranchiale, e'- Os epibranchiale,

1- M. constrictor colli, 1'- seine Pars intermandibularis, 2- M. intermandibularis ventralis, 3- M. serpihyoideus, 4- M. stylohyoideus, 5- M. branchiomandibularis, 6- M. interceratobranchialis, 7- M. ceratoglossus, 8- M. hypoglossus rostralis, 9- M. hypoglossus obliquus, 10- M. cricohyoideus

Der M. hypoglossus rostralis, M. hypoglossus obliquus, M. ceratoglossus und der M. interceratobranchialis haben ihren Ursprung und Ansatz am Os hyoideum. Der M. serpihyoideus, M. stylohyoideus, M. branchiomandibularis und der M. genioglossus ziehen von der Mandibula an das Os hyoideum (**Abb. 8**).

Der M. genioglossus fehlt dem Huhn. Der M. intermandibularis ventralis und der M. intermandibularis dorsalis ziehen von der Mandibula an eine mediane Raphe im Kehlgang. Der M. intermandibularis dorsalis fehlt bei Huhn und Taube (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993).

Zum besseren Verständnis nachfolgend ein Überblick über die Zungenbeinmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Zungenmuskeln und zu den oberen bzw. unteren Zungenbeinmuskeln des Menschen:

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>M. intermandibularis ventralis</p> <p>M. mylohyoideus/ M. intermandibularis (Pars rostralis)</p> <p>M. mylohyoideus</p>	<p>der Muskel drückt die Zunge gegen den Gaumen</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. mylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> hebt u. a. Mundboden und Zunge beim Schluckakt, senkt den Unterkiefer; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. intermandibularis dorsalis (fehlt bei Huhn und Taube)</p> <p>M. mylohyoideus/ M. intermandibularis (Pars caudalis)</p> <p>M. mylohyoideus</p>	<p>bei Kontraktion des Muskels wird der Torus linguae gegen den Gaumen gedrückt, Seitwärtsziehen der Zunge</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1996</p>	<p>M. mylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> hebt u. a. Mundboden und Zunge beim Schluckakt, senkt den Unterkiefer; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. serpihyoideus</p>	<p>durch Muskelkontraktion wird die Kehlkopfkronen gegen das Mund/Schlundkopfdach gehoben und teils auch die Zunge zurückgezogen</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p>	<p>Evtl.: M. digastricus, Venter posterior (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> Hebung bzw. Fixierung des Zungenbeins; SOBOTTA 1993</p>

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p>M. intercerato-branchialis</p> <p>M. keratohyoideus</p> <p>M. hyoideus transversus</p>	<p>bei Kontraktion werden die Zungenbeinäste einander genähert und damit Mund- und Schlundkopfboden gehoben und rostral verschoben</p>	<p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>es existiert kein vergleichbarer Muskel</p>
<p>M. ceratoglossus</p> <p>M. keratoglossus</p> <p>M. styloentoglossum</p>	<p>zieht die Zunge zurück, eine einseitige Kontraktion bewirkt ein Seitwärtsziehen der Zunge, beidseitige Kontraktion bewirkt Ziehen der Zungenspitze nach unten</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. styloglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht die Zunge nach hinten oben (Saug- und Schluckakt); SOBOTTA 1993</p>
<p>M. hypoglossus rostralis</p> <p>M. hyoglossus rostralis</p> <p>M. copuloentoglossum</p>	<p>senkt die Zungenspitze</p> <p>Herabziehen der Zunge</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. chondroglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht den Zungengrund nach unten und hinten; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. genioglossus (fehlt beim Huhn)</p>	<p>schwacher Vorführer des Zungenkörpers</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p>	<p>M. genioglossus (Zungenmuskel) <u>Funktion:</u> zieht die Zunge nach vorn und unten; SOBOTTA 1993</p>

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p>M. branchiomandibularis</p> <p>M. geniohyoideus</p>	<p>kräftigster Muskel des Zungenapparates, kann den Zungenbeinapparat und damit die Zunge vorstrecken</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. geniohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> unterstützt den M. mylohyoideus (Hebung der Zunge), fixiert das Zungenbein, senkt den Unterkiefer, hebt das Zungenbein; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. stylohyoideus</p> <p>M. hyomandibularis/ M. stylohyoideus</p>	<p>wesentlicher Rückzieher der Zunge und damit für Nahrungstransport in der Mundhöhle bedeutsam, Heben des Zungenbeins</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. stylohyoideus (oberer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> Fixierung des Zungenbeins, zieht dieses beim Schluckakt dorso-cranialwärts; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. hypoglossus obliquus</p> <p>M. hypoglossus obliquus</p>	<p>wölbt den Zungenrücken hoch und ist damit beim Verschlingen von Nahrungsteilen behilflich</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. hypoglossus (Zungenmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> zieht den Zungengrund nach unten und hinten; SOBOTTA 1993</p>

Tab. 3 Übersicht über die Zungenbeinmuskeln der Vögel und Zuordnung zu den Zungenmuskeln sowie zu den oberen bzw. unteren Zungenbeinmuskeln des Menschen

2.4 Der Larynx der Vögel

2.4.1 Makroskopische Anatomie des Larynx der Vögel

Auch der Larynx, Kehlkopf, wird in der Literatur einerseits anhand des allgemeinen Vogeltypus beschrieben, andererseits findet die Morphologie des Huhnes große Beachtung. Morphologische Besonderheiten der Wachtel werden in den Beschreibungen berücksichtigt.

An die Choanenspalte der Vögel schließt sich der Larynx, der horizontal gestellt ist, an (FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

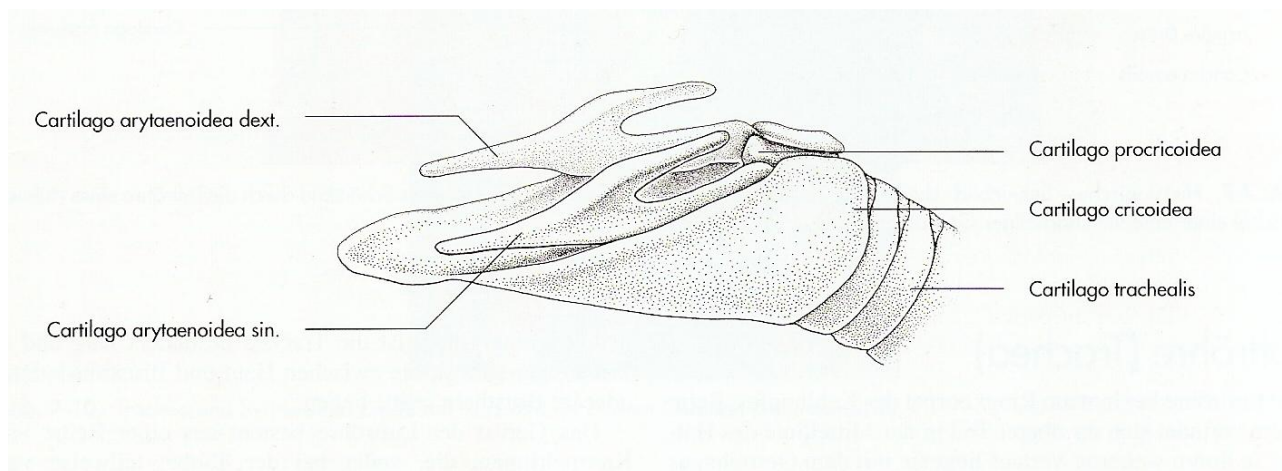


Abb. 9 Schematische Darstellung der Larynxknorpel des Huhnes (linke Lateralansicht)
(KÖNIG und LIEBICH 2001)

Der Larynx liegt caudal des Os hyoideum, ist aber nicht mit ihm durch Bänder verbunden (**Abb. 9** und **11**). Der Larynx dient dazu, die Respirationsluft durchströmen zu lassen (IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

In der Mitte des Kehlkopfwulstes liegt die Glottis, ein sagittal gestellter, spaltenförmiger Zugang zur Kehlkopfhöhle. Die Glottis stellt die Öffnung von der Trachea zum Pharynx dar (HAMILTON 1952, NICKEL et al. 1992, KÄMPFE et al. 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Ein paariger und zwei unpaarige Larynxknorpel (**Abb. 9**) bilden das Stützgerüst des Larynx (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Der unpaarige Ringknorpel, Cartilago cricoidea, umfasst mit einem langen, medianen, rinnenförmigen Corpus und zwei latero-caudal aufstrebenden Flügeln, Alae, die Kehlkopfhöhle von ventral und lateral (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Die Flügel können artspezifisch auch selbständig vorkommen (NICKEL et al. 1992).

Der Ringknorpel ist beim Huhn etwa 15 - 18 mm lang und 11 - 13 mm breit (SALOMON 1993).

Nach SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) besteht der Ringknorpel beim Huhn aus den unpaarigen dorsalen und ventralen sowie aus den paarigen seitlichen Teilstücken (**Abb 10**). Die seitlichen Teilstücke sind bei Huhn, Ente und Taube vom ventralen Teilstück getrennt, während sie bei der Gans mit diesem verschmelzen. Das dorsale und ventrale Teilstück verknöchern frühzeitig.

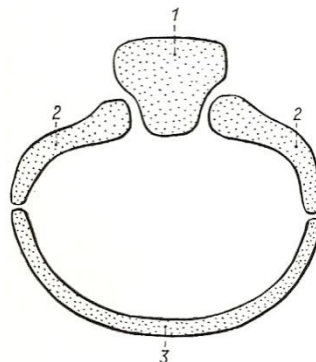


Abb. 10 Querschnitt durch den Ringknorpel des Huhnes (schematisch)
1- dorsales Teilstück; 2,2- seitliche Teilstücke; 3- ventrales Teilstück
(SCHWARZE und SCHRÖDER 1985)

NICKEL et al. (1992), SALOMON (1993), HUMMEL (2000) sowie KÖNIG und LIEBICH (2001) bezeichnen das dorsale Teilstück des Larynx als Cartilago procricoidea. Die Cartilago procricoidea ist einerseits mit den beiden Flügeln des Ringknorpels in den Articulationes procricocricoideae und andererseits mit dem paarigen Stellknorpel in je einer Articulatio procricoarytenoidea gelenkig verbunden (NICKEL et al. 1992). Der Knorpel ist kommaförmig und verknöchert bei adulten Vögeln meist vollständig (SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Ebenso verknöchert der Ringknorpel beim adulten Tier größtenteils (NICKEL et al. 1992). Das schaufelförmige rostrale Ende, der Mittelabschnitt des caudalen Endes und ein schmaler Streifen zwischen dem Corpus und den Flügeln bleiben knorpelig und flexibel (SALOMON 1993).

Nach FITZGERALD (1969) besteht der Larynx der Wachtel nur aus dem unpaarigen Ringknorpel und dem paarigen Stellknorpel. Der Corpus des Ringknorpels verknöchert teilweise bei der jungen Wachtel.

Dem Ringknorpel schließen sich die Knorpelringe der Trachea an (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004). Nach FITZGERALD (1969) hat die Trachea der Wachtel eine Länge von etwa 6,3 cm und besteht aus ca. 90 Knorpelringen.

Der paarige Stellknorpel, Cartilago arytenoidea, besteht aus einem Corpus sowie den Fortsätzen, Processus rostralis und Processus caudalis, die nach cranial und caudal gerichtet sind (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001).

FITZGERALD (1969) geht bei der Wachtel nur vom Corpus als ventrale Spange und dem Processus caudalis als dorsale Spange aus.

SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) beschreiben beim Huhn ebenso nur den Corpus und den Processus caudalis des Stellknorpels.

Laut SCHWARZE und SCHRÖDER (1985), NICKEL et al. (1992) und SALOMON (1993) bleiben die Fortsätze des Stellknorpels beim adulten Vogel knorpelig, und der Corpus verknöchert meistens.

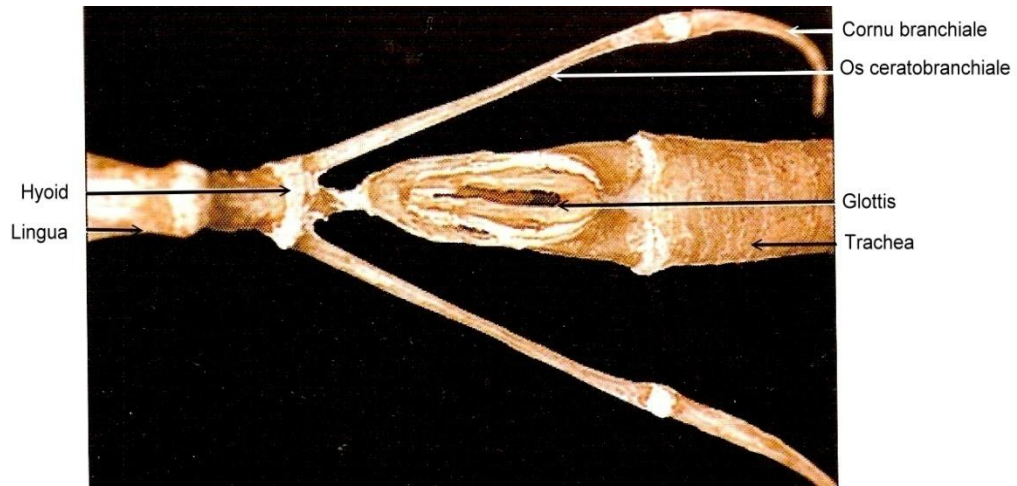
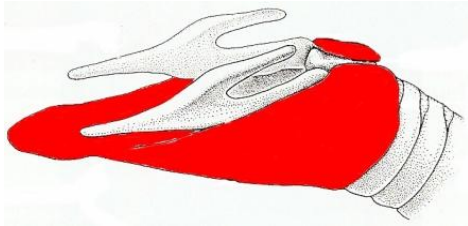

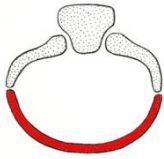
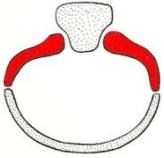
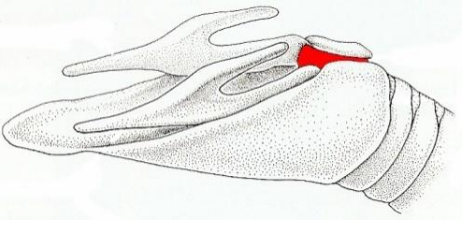


Abb. 11 Lage des Larynx im Bezug zum Os hyoideum und der Lingua eines Huhnes (Dorsalansicht)
(KÖNIG und LIEBICH 2001)

Der Schildknorpel, Cartilago thyroidea, die Epiglottis und die Stimmbänder fehlen dem nur der Atmung dienenden Larynx (FITZGERALD 1969, IHLE et al. 1971, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001, HILDEBRAND und GOSLOW 2004).

Aufgrund der unterschiedlichen Darstellungen des anatomischen Aufbaus des Larynx der Vögel in der Literatur hier nun eine tabellarische Zusammenstellung:

Anatomischer Aufbau des Larynx der Vögel	Autoren
<p>Cartilago cricoidea</p>  <ul style="list-style-type: none"> - <u>bestehend aus 3 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus - zwei latero-caudal aufstrebende Alae - <u>bestehend aus 4 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - dorsales Teilstück (entspricht der Cartilago procricoidea)  - ventrales Teilstück (entspricht dem Corpus)  - paarige seitliche Teilstücke  	<p>FITZGERALD 1969, NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>

Anatomischer Aufbau des Larynx der Vögel	Autoren
<p>Cartilago arytenoidea</p>  <ul style="list-style-type: none"> - <u>bestehend aus 3 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus - Processus rostralis - Processus caudalis - <u>bestehend aus 2 Anteilen</u> <ul style="list-style-type: none"> - Corpus (ventrale Spange) - Processus caudalis (dorsale Spange) 	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>FITZGERALD 1969, SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>
<p>Cartilago procricoidea</p> 	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p>

Tab. 4 Übersicht über den anatomischen Aufbau des Larynx der Vögel

2.4.2 Embryonale Entwicklung des Larynx der Vögel und Zugehörigkeit der Anteile des Larynx zu den Pharyngealbögen

Aus der Laryngotrachealrinne (entodermale Anlage), die sich caudal der 4. Schlundtasche am Boden des Vorderdarms gebildet hat, entwickelt sich die epitheliale Auskleidung von Larynx, Trachea, Bronchien und Alveolen der Lunge einschließlich aller Drüsen (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, KÄMPFE et al. 1993, SCHNORR 1996, BELLAIRS und OSMOND 1998).

Bindegewebe, Skelettelemente, Muskulatur und Gefäße dieser Organe gehen aus dem umgebenden Mesenchym hervor (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996, BELLAIRS und OSMOND 1998).

Die Arytenoidknorpel bilden sich aus den paarigen Arytenoidwülsten, welche Mesenchymolster darstellen (RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR und KRESSIN 2001).

Sie werden als Rudimente des 5. Pharyngealbogens angesehen (MICHEL 1983, SCHNORR 1996, SCHNORR und KRESSIN 2001).

KALLIUS (1904) ordnet die Arytenoidwülste dem 6. Pharyngealbogen zu.

Die Arytenoidwülste können vorübergehend so stark vergrößert sein, dass der Hohlraum des Larynx zu einem engen Spalt wird und es zu einer Verklebung des Epithels kommt (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991).

Laut BELLAIRS und OSMOND (1998) geschieht dies zwischen dem 8. und 11. Tag der Inkubation des Hühnerembryos.




Der Ringknorpel geht aus dem Mesenchym der 1. Trachealspange hervor (MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996).

Die embryonale Entwicklung der Cartilago procricoidea wird in der Literatur nicht näher beschrieben.

IHLE et al. (1971) führen das Skelett des Larynx auf den 5. Pharyngealbogen zurück.

HAMILTON (1952), BELLAIRS und OSMOND (1998) beschreiben, dass sich zwischen dem 3. und 4. Tag der Inkubation des Hühnerembryos die Trachea entwickelt. Am 6. Tag der Inkubation verlängert sich die Trachea, und an ihrem vorderen Ende bildet sich der Larynx in Form der Arytenoidwülste aus. Am 11. Tag sind die Trachealknorpel zu erkennen.

Zur Verdeutlichung der Fakten hier nun die tabellarische Übersicht über die Zugehörigkeit der Anteile des Larynx zu den Pharyngealbögen:

Teil des Larynx	Zugehörigkeit zu den Pharyngealbögen	Autoren
Cartilago cricoidea 	- aus Mesenchym der 1. Trachelspange	MICHEL 1983, RÜSSE und SINOWATZ 1991, SCHNORR 1996
Cartilago arytenoidea 	- 5. Pharyngealbogen - 6. Pharyngealbogen	MICHEL 1983, SCHNORR 1996, SCHNORR und KRESSIN 2001 KALLIUS 1904
Cartilago procricoidea 	- findet in der Literatur keine Erwähnung	
Skelett des Larynx (allgemein)	- 5. Pharyngealbogen	IHLE et al. 1971

Tab. 5 Übersicht über die Zugehörigkeit der Larynxanteile zu den Pharyngealbögen

2.4.3 Die Kehlkopfmuskeln der Vögel

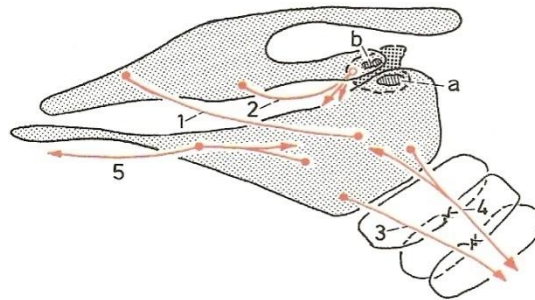


Abb. 12 Wirkungslinien der Kehlkopfmuskeln und Lage der Gelenke des Kehlkopfs des Huhnes
 1- M. dilatator glottidis, 2- M. constrictor glottidis, 3- M. tracheolateralis,
 4- M. sternohyoideus, 5- M. cricohyoideus
 a- Articulatio procricocricoidea, b- Articulatio procricoarytenoidea
 (NICKEL et al. 1992)

Der paarige Stellknorpel wird durch den M. dilatator glottidis und den M. constrictor glottidis bewegt (**Abb. 12**), wodurch die Glottis weit oder eng gestellt werden kann (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001). Der M. cricohyoideus und die Mm. tracheales sorgen dafür, dass der Larynx gehoben oder gesenkt wird (NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001).

SCHWARZE und SCHRÖDER (1985) zählen den M. cricoarytenoideus medialis zum Verenger und den M. cricoarytenoideus lateralis zum Erweiterer des Kehlkopfeingangs. Den M. cricohyoideus bezeichnen die Autoren als M. hyolaryngeus, FITZGERALD (1969) spricht vom M. thyroentoglossum.

Nachfolgend ein Überblick über die Kehlkopfmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Muskeln des Kehlkopfs des Menschen:

Muskel beim Vogel	Funktion	Autoren	vergleichender Muskel beim Menschen, dessen Funktion, Autoren
<p><u>Synonyma:</u></p> <p>M. dilatator glottides</p> <p>M. cricoarytenoideus lateralis</p>	<p>bei Kontraktion zieht er den paarigen Stellknorpel zur Seite und stellt die Glottis weit, Erweiterer des Kehlkopfeingangs</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. cricoarytenoideus posterior</p> <p><u>Funktion:</u> Erweiterung der Stimmritze; SOBOTTA 1993</p>
<p>M. constrictor glottides</p> <p>M. cricoarytenoideus medialis</p>	<p>bei Kontraktion führt er den paarigen Stellknorpel und den Ringknorpel einwärts und engt damit die Glottis ein, Verengung des Kehlkopfeingangs</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, HUMMEL 2000, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p>	<p>M. cricoarytenoideus lateralis</p> <p><u>Funktion:</u> Verschluss der Stimmritze (Pars intermembranacea) SOBOTTA 1993</p>
<p>M. cricohyoideus</p> <p>M. hyolaryngeus</p> <p>M. thyroentoglossum</p>	<p>bei Kontraktion werden Zungenrund und Kehlkopf einander angenähert und hochgewölbt</p>	<p>NICKEL et al. 1992, SALOMON 1993, KÖNIG und LIEBICH 2001</p> <p>SCHWARZE und SCHRÖDER 1985</p> <p>FITZGERALD 1969</p>	<p>M. thyrohyoideus (unterer Zungenbeinmuskel)</p> <p><u>Funktion:</u> u. a. Hebung des Kehlkopfs, Hilfsmuskel beim Schluckakt und bei der Atmung; SOBOTTA 1993</p>

Tab. 6 Übersicht über die Kehlkopfmuskeln der Vögel mit jeweiliger Zuordnung zu den Muskeln des Kehlkopfs des Menschen

3 MATERIAL UND METHODE

3.1 Material

Für die vorliegende Studie wurden fünf Wachtelembryonen unterschiedlicher Entwicklungsstadien untersucht.

Diese stammen aus der Sammlung von Prof. Dr. R. A. Schneider, University of California at San Francisco.

Wachtelembryo	Schnitttrichtung	Alter (Bebrütungstage)
QUA 57/02, HH32	frontal	7,5
QUA 85/02, HH33	frontal	7,5 - 8
QUA 87/02, HH35	frontal	8 - 9
QUA 39/01, HH36	sagittal	10
QUA 40/01, HH38	horizontal	12

Tab. 7 Untersuchte Präparate der verschiedenen Entwicklungsstadien mit Benennung der Schnitttrichtung parallel zur Frontal-, Sagittal- oder Horizontalebene, Angabe des Alters in Bebrütungstagen und jeweils das entsprechende Stadium nach HAMBURGER und HAMILTON (1951)

Für die Anfertigung der histologischen Schnittserien wurden die Präparate zunächst in Formaldehyd fixiert. Dem folgte die Überführung in alkoholische Lösung und anschließend die Entkalkung mit EDTA für ca. 30 - 45 Tage. Die Dehydratation erreichte man durch eine ansteigende Konzentration von Ethylalkohol, Methylbenzoat und Xylol. Aus den nach Standardverfahren in Paraffin eingebetteten Wachtelembryonen wurden histologische Schnittserien mit einer Schichtdicke von 10 µm angefertigt. Die Färbung der Präparate erfolgte mit Hämatoxylin-Eosin (H. E.).

3.2 Rekonstruktionstechnik

Zur Ermittlung der relevanten Schnittserienbereiche wurden die histologischen Schnitte lichtmikroskopisch analysiert und mit 2,5- bis 4-facher Vergrößerung dargestellt. Unter Verwendung der Software AnalySIS[®] 3.1 (SOFT IMAGING SYSTEM GmbH, Münster, Deutschland) wurden die histologischen Schnittbilder mit Hilfe des Lichtmikroskops (Zeiss, Jena) und einer Digitalkamera (ColorView IIIu, SOFT IMAGING SYSTEM GmbH, Münster, Deutschland) fotografiert. In Abhängigkeit von der realen Objektgröße wurden die einzelnen Fotoobjekte aus 2 bis 30 Einzelbildern mit Hilfe des Multiple Image Alignment (MIA) zu einer Bilddatei zusammengefügt. Die anschließende Bildbearbeitung und die Rekonstruktion der Schnittserien in 3D erfolgte ebenfalls mit der Software AnalySIS[®] 3.1. Diese Software basiert auf einem Triangulationsverfahren zur Oberflächenrekonstruktion. Die Oberflächen der Schnittserienrekonstruktionen lassen sich beliebig einfärben und schattieren. Die Darstellungen können in Umrissen, halbtransparent und unter einer beliebigen Orientierung im Raum betrachtet werden.

Die Farbwahl für die verschiedenen anatomischen Strukturen richtet sich nach den Vorschlägen von BLECHSCHMIDT (1963):

Anatomische Struktur	Farbe	Anatomische Struktur	Farbe
Knochen	Gold	Arterie	Rot
Meckel'scher Knorpel	Blau	Basis cranii	Hellblau
Labyrinthus osseus	Hellblau	Muskel allgemein ⁴	Orange
Os hyoideum	Blau	Lingua	Rosa
Epithel	Beige	Nerv	Gelb
Larynx	Lila	Columella auris	Hellblau
Arytenoidwülste	Pink	Os quadratum	Blau
Trachea	Gelb	Cartilagine tracheales	Hellgrün

Tab. 8 Farbmodell für die Schnittserienrekonstruktionen der Wachtelembryonen

⁴ Aus Gründen der Übersichtlichkeit finden sich in den folgenden Abbildungen Modifikationen innerhalb des Farbtons für die einzelnen unterschiedlichen Muskeln.